



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPTINEN TIEDONSIIRTO

Jani Kivelä

Opinnäytetyö
Joulukuu 2017
Tietotekniikka
Tietoliikennetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikka
Tietoliikennetekniikka

KIVELÄ, JANI:
Optinen tiedonsiirto

Opinnäytetyö 42 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Joulukuu 2017

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin optisen tiedonsiirron keskeisiin komponentteihin, tekniikoihin ja toiminnan kannalta haitallisiin vaikutuksiin. Työn tuloksia voidaan käyttää optisen tiedonsiirtoratkaisun vertailuun muihin tiedonsiirtoratkaisuihin, kuten perinteisillä kuparikaapeilla tehtyihin verkkoihin. Ymmärrettäessä teknologian edut ja haitat voidaan paremmin valita oikea teknologia kunkin tarpeen mukaan.

Työssä paneudutaan syvällisemmin valokuitujen ja valokaapeleiden toimintaperiaatteisiin ja rakenteisiin, sekä niissä ilmeneviin ilmiöihin. Myös valokuituverkoissa käytettäviin laitteisiin ja tekniikoihin tutustutaan.

Optiset tiedonsiirtoratkaisut tarjoavat verkon skaalautuvuutta ja kapasiteettia johon perinteisiin kuparikaapeleihin perustuvat verkot eivät kykene. Siirtoteissä käytettävä materiaali, kvartsilasi, tuo omat haasteensa ja rajoituksensa niiden asentamiseen ja käyttämiseen. Noudatettaessa oikeaoppisia asennus- ja käsittelykäytäntöjä voidaan tehdä hyvin suuren siirtokapasiteetin verkkoja, eivätkä käytettävät materiaalit ole huoli.

Asiasanat: valokuitu, valokaapeli, vaimeneminen, jatkos, kuituverkko

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Information Technology
Telecommunications

KIVELÄ, JANI:
Optical data-transfer

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 0 pages
December 2017

This thesis looks at key components and technology of optical data-transfer, also looking at possible harmful effects that may negatively affect it. Results of this thesis can be used to compare optical data-transfer solutions to other data-transfer solutions, for example to traditional copper cable networks. When one understands pros and cons of technology one can make better choices when choosing technology for specific needs.

This project takes a deeper look to operating principles and structures of fiber optics and fiber optic cables, and to effects surrounding them. Also, devices and technology used in fiber networks are made more familiar.

Optical data-transfer solutions provide network scalability and capacity that traditional copper cable networks can't match. Material used in optical fibers, quartz glass, brings its own challenges and limitations to their installation and use. When following proper installation and handling guidelines we can make high capacity networks, while used materials won't be an issue.

Key words: optical fiber, fiber optic cable, attenuation, joint, fiber network

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	VALOKUIDUT JA VALOKAAPELIT	8
2.1	Historia.....	8
2.2	Valon eteneminen valokuidussa	10
2.3	Valokuidun rakenne ja materiaalit	11
2.4	Yksimuotokuitu	13
2.5	Monimuotokuitu	13
2.5.1	Askeltaitekertoiminen monimuotokuitu.....	14
2.5.2	Asteittaistaitekertoiminen monimuotokuitu.....	14
2.6	Valokaapeleiden rakenne	15
2.6.1	Valokuitujen suojaaminen.....	16
2.6.2	Päärakenteet	17
2.6.3	Vaippa	19
3	VALON VAIMENEMINEN VALOKUIDUSSA	20
3.1	Absorptio	20
3.2	Rayleigh sironta	21
3.3	Fresnel heijastuminen	21
3.4	Valokuidun taipumisen tuottama vaimeneminen	22
3.4.1	Mikrotaipuma.....	22
3.4.2	Makrotaipuma	23
4	WDM.....	25
4.1	CWDM.....	25
4.2	DWDM	26
4.2.1	Super-channel.....	26
5	VALOKUIDUN JATKAMINEN	28
5.1	Jatkaminen hitsaamalla	28
5.2	Mekaaninen jatkaminen	30
6	KUITUVERKON KOMPONENTIT	31
6.1	Aktiiviset komponentit	31
6.1.1	Transceiver	31
6.1.2	Optinen vahvistin	32
6.1.3	Multiplexseri ja demultiplexseri	34
6.2	Passiiviset komponentit	34
6.2.1	Optiset liittimet	34
6.2.2	Häntäkuidut ja kytkentäkaapelit.....	37
6.2.3	Vaimennin	38

7 POHDINTA.....	39
LÄHTEET.....	40

LYHENTEET JA TERMIT

WDM	Wavelength-Division Multiplexing, aallonpituuskanavointi.
CWDM	Coarse Wavelength-Division Multiplexing, väljä aallonpituuskanavointi.
DWDM	Dense Wavelength-Division Multiplexing, tiheä aallonpituuskanavointi.
EDFA	Erbium-doped Fiber Amplifiers, kuitupohjainen erbium-vahvistin.

1 JOHDANTO

1990-luvun alussa maailmalle levisi uusi globaali ilmiö, Internet. Internet mahdollistaa maailmanlaajuisen ja miltei reaaliaikaisen kommunikaation sekä tiedon vaihdon. Pitkään yleisin tapa siirtää dataa Internet palveluiden tarjoajien verkoissa eri palvelimien ja loppukäyttäjien välillä oli käyttää puhelinlinjoja, kuparikaapeleita, siirtotienä. Tämä ratkaisu oli itsestään selvä sekä helppo koska jokaisessa talossa ja asunnossa on jo valmiiksi asennettu linja puhelimelle.

Käyttäjien määrän kasvaessa, tarjolla olevien palveluiden määrän ja monimuotoisuuden kasvaessa, sekä palveluiden käyttämien teknologioiden kehittyessä tuli myös tarve kyyllle siirtää edelleen suurempia määriä dataa nopeammin ja luotettavammin. Tästä jatkuvasti kasvavasta tarpeesta johtuen kuparikaapelit ovat tulleet tiensä päähän tiedonsiirron kapasiteetissa. Kuparikaapeleiden vielä ollessa yleisessä käytössä tiedonsiirtoon loppukäyttäjän ja palvelun tarjoajan välillä nämä palvelun tarjoajat kuten Sonera ovat jo pitkään rakennuttaneet verkkoja valokaapeleilla. Nämä verkot mahdollistavat merkittävästi korkeammat tiedonsiirtonopeudet sekä luotettavuuden, koska valokuidut ovat suunniteltu juuri tätä tarkoitusta varten eivätkä ole alttiita häiriöille muista signaaleista toisinkuin perinteiset kuparikaapelit. Pääsy näihin nopeisiin kuituverkkoihin ei ole enää vain operaattoreille kuten Soneralla, valtion ja kaupunkien virastoille tai korkeakouluilla vaan kasvavalla vauhdilla yksityisille kuluttajille tarjotaan mahdollisuuksia hankkia Internet yhteys, joka on toteutettu käyttäen kuituverkkoa.

Koska valokaapelit ovat tiedonsiirron tulevaisuus ja tulevat korvaamaan perinteiset kuparikaapelit kaikilla tasoilla kuluttajien tarpeista aina valtioiden tarpeille on ajankohtaista ymmärtää paremmin valokuituja, valokaapeleita sekä kuituverkkoja. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on syventää tietoutta kyseisestä teknologiasta koska se on keskeinen teknologia modernissa tiedonsiirrossa.

2 VALOKUIDUT JA VALOKAAPELIT

Valokaapeli ja valokuitu menevät helposti sekaisin maallikolla. Usein, kun puhutaan valokuiduista tai vain kuiduista oikeasti tarkoitetaan puhua valokaapeleista. Valokaapelit muodostuvat useista yksittäisistä valokuiduista ja kovasta suojaavasta kuoresta joka muodostaa nämä useat yksittäiset valokuidut kaapeliksi. Yksittäinen valokuitu on lasista tai muovista vedetty kuitu, jonka tarkoitus on johtaa valoa. Tämä mahdollistaa tiedonsiirron valon nopeudella.

Valokuidut ovat alkaneet myös yleistyä trendikkäänä valaistusratkaisuna yksityisten kotien eri huoneista aina toimitilojen sekä toimistojen tyyliteltyyn valaisuun.

2.1 Historia

Vuonna 1854 brittiläinen fyysikko John Tyndall näytti todeksi, että valoa voidaan taivuttaa. Hän suoritti kokeilun, jossa hän täytti tankin vedellä ja tankissa oli ulostulo putki yhdellä sivulla. Veden virratessa ulos putkesta hän osoitti valon tankkiin ja valon kaari seurasi vedenvirtausta putkesta. (M2Optics)

1880 Graham Bell patentoi optisen puhelin järjestelmän, mutta hänen aikaisemmin patentoima normaali puhelin osoittautui huomattavasti suositummaksi, jotenka hänen optinen puhelin järjestelmä jäi vain patentiksi. Samana vuonna William Walter kehitti järjestelmän jossa sarja valojohdinputkia yhdessä valokaarivalon kanssa valaisisi huoneet talossa. (M2Optics)

Ranskalainen insinööri Henri Saint-Rene vuonna 1888 teki kokeilun, jossa hän käytti useita taivutettuja lasitankoja siirtämään kuvia. Tämä on yksi ensimmäisistä yrityksistä tehdä televisio. (M2Optics)

1920 luvulla John Logie Baird sai patentin järjestelmälle, jossa käytetään useita läpinäkyviä sauvoja lähettämään kuvia televisiota varten. Vuonna 1930 Heinrich Lamm oli ensimmäinen henkilö, joka onnistuneesti lähetti kuvan kuitunipun avulla. Hän halusi käyttää järjestelmää ihmisen kehon sisälle näkemiseen. (M2Optics)

Laserista tuli tehokas valonlähde ensimmäisen kerran vuonna 1958. Ensimmäinen jatkuvatoiminen helium-neon kaasulaser keksittiin ja testattiin vuonna 1960. Samana vuonna käyttökelpoinen laser kehitettiin käyttäen synteettistä vaaleanpunaista rubiinikidettä. (M2Optics)

1961 Elias Snitzer, American Opticalista, julkaisi teorian yksimuotoisesta kuidusta. Valokuidussa olisi niin pieni ydin, että se voisi johtaa valoa vain yhdessä muodossa eli vaihemuutos ei ollut mahdollista. Hän myös pystyi muuttamaan teorian käytännön esitykseen, mutta koska valohäviö oli liian suurta se ei soveltunut kommunikaatio sovelluksiin. Keksintö soveltui lääketieteellisiin sovelluksiin. (M2Optics)

1964 Charles Kao ja George Hockman englantilaisesta Standard Communications Laboratory:stä julkaisi paperin, joka esitti teorian epäpuhtauksien poistamisesta lasikuiduista. Mitä puhtaampia lasikuidut sitä vähemmän valohäviötä tapahtuu. (M2Optics)

Kuusi vuotta myöhemmin 1970 tutkijat Corning Glass Worksissa loivat yksimuoto kuidun, jossa vaimennus oli vähemmän kuin 20 dB / km. Tämä saavutettiin ehostamalla kvartsilasia käyttämällä titaania. Vuonna 1973 Bell Laboratories yhteistyössä Morton Panishin, Izuo Hayashin ja Leningradin Physical Institutin ryhmän kanssa esittelivät puolijohde diodi laserin, joka pystyi lähettämään yhtäjaksoisia aaltoja huoneenlämmössä. (M2Optics)

1970 luvun lopulla ja läpi 1980 luvun teleoperaattorit alkoivat käyttämään enemmän ja enemmän kuitukaapeleita heidän sisäisissä kommunikaatioverkoissa. 1980 luvun puolivälissä Sprint avasi ensimmäisen kokonaisen valtion kattavan digitaalisen kuituverkon. 1986 oli vuosi, kun pitkänmatkan kuitujärjestelmien hinta laski koska markkinoille tuli erbiumpulalla ehostettu kuituvahvistin. David Payne Southamptonin yliopistosta ja Emmanuel Desurvire Bell Laboratorioista kehittivät yhdessä tämän vahvistimen. Ensimmäinen transatlanttinen puhelinkaapeli tuli käyttöön 1988 ja käytti tätä samaa laser vahvistus teknologiaa. (M2Optics)

Desurvire ja Payne vuonna 1991 esittelivät optisen vahvistimen, joka oli tehty suoraan kuitukaapelin sisälle. Tämä täysin optinen järjestelmä pystyi siirtämään 100 kertaa enemmän tietoa kuin kaapelit elektronisilla vahvistimilla. Samana vuonna fotonikristalleihin

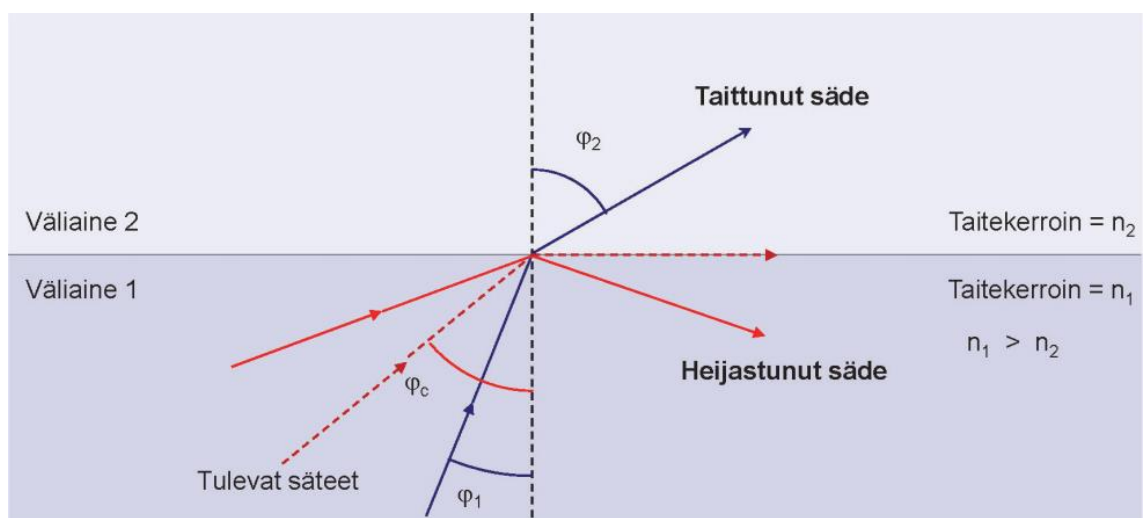
pohjautuva kuitu tuli markkinoille. Näin toteutettu kuitu ohjaa valoa käyttäen diffraktiota, tämä sallii valon kantamista paljon tehokkaammin kuin perinteisissä kuiduissa. (M2Optics)

Vuoden 1996 lopussa TPC-5 tuli käyttövalmiiksi. Se on täysin optinen kuitukaapeli joka käyttää optisia vahvistimia. Kaapeli laskettiin Tyynen valtameren pohjaan ja yhdistää useita maita, näihin maihin kuuluu USA, Japani, Kiina, Iso-Britannia, Saksa ja Meksiko. (M2Optics; Submarine Networks)

2.2 Valon eteneminen valokuidussa

Valokuidun toiminnan perusteena ovat valon taittumis- ja heijastumislait kahden aineen rajapinnassa. Valonsäteiden kohdatessa kahden aineen rajapinnan ne taittuvat ja heijastuvat eri suuntiin (Kuva 1). Väliaineiden taitekertoimet ovat eri suuret siten, että väliaineen 1 taitekerroin n_1 on suurempi kuin väliaineen 2 taitekerroin n_2 . Kun väliaineesta 1 tuleva ja rajapinnan normaalin kanssa kulman φ_1 muodostama valonsäde kohtaa rajapinnan, se taittuu rajapinnasta siten, että väliaineessa 2 se muodostaa rajapinnan normaalin kanssa kulman φ_2 . Valonsäde taittuu normaalista poispäin eli rajapintaa kohti. Taittuminen noudattaa Snellin lakia (Yhtälö 1). (Nestor Cables, 16)

$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2 \quad (1)$$



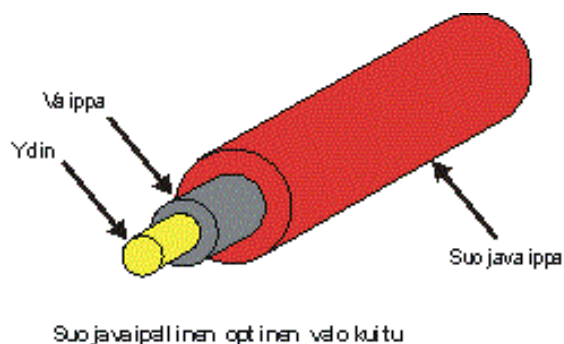
KUVA 1. Valon taittuminen Snellin lain mukaisesti. (Nestor Cables, 16)

Kun valonsäteen tulokulma kasvaa riittävän suureksi, taittuu valonsäde rajapinnassa pinnan suuntaiseksi. Jos tulokulma kasvaa vielä suuremmaksi, heijastuu valonsäde rajapinnasta kokonaan takaisin väliaineeseen 1 samansuuruisessa kulmassa. Ilmiötä kutsutaan kokonaisheijastukseksi ja kulmaa φ_c , jolla kokonaisheijastus tapahtuu, kutsutaan kriittiseksi kulmaksi. (Nestor Cables, 16)

Valo etenee valokuidussa siis Snellin lain mukaisesti. Valokuidun ytimen taitekerroin on suurempi kuin vaipan taitekerroin. Valonsäteen tulokulman ollessa riittävän pieni suhteessa valokuidun akseliin tapahtuu ytimen ja vaipan rajapinnassa kokonaisheijastus. Kokonaisheijastuksen tapahtuessa valonsäde alkaa edetä valokuidussa. Valonsäteet joiden tulokulma ei ole tarpeeksi pieni osuessa rajapintaan etenevät valokuidun vaippaan. Valokuidun rakeesta kohdassa 2.3.

2.3 Valokuidun rakenne ja materiaalit

Riippumatta siitä onko valokuitu yksi- vai monimuotokuitu sen perusrakenne ja sen tekemiseen käytettävät materiaalit ovat samoja. Perusrakenne muodostuu kolmesta yksilöllisestä osasta (Kuva 2). Ydin on valokuidun keskeisin osa ja osa joka johtaa kaiken kuidussa kulkevan valo. Ydin on joko lasia tai muovia ja sen halkaisija vaikuttaa suoraan siihen, että kuinka paljon valoa se voi johtaa. Vaipan tarkoitus on mahdollistaa valokuidun toiminnan kannalta kriittinen kokonaisheijastus. Vaippa on joko lasia tai muovia. Ydin ja vaippa ovat yleisesti tehty samasta materiaalista kuten kvartsilasista, mutta joissain erityiskuiduissa ydin voi olla lasia ja vaippa muovia. Suojavaipan tarkoitus on suojata kuidun ydinrakennetta mekaanisilta rasituksilta kuten iskuilta samalla, kun antaa kuidun rakenteelle kestävyyttä mm. mikrohalkeamia ja vetorasitusta vastaan. Suojavaippa on tehty muovista. (Belden Cables)



KUVA 2. Valokuidun rakenne. (Rakenne)

Valokuidun mitat ilmoitetaan esimerkiksi 10/125 μm . Ensimmäinen arvo on ytimen halkaisija ja jälkimmäinen arvo on vaipan halkaisija. Valokuitu näillä mitoilla olisi yksimuotokuitu. (Nestor Cables, 18)

Kvartsilasi on yleisin raaka-aine, josta tehdään valokuituja. Kvartsilasi on erittäin puhdasta lasia ja tästä johtuen valon vaimeneminen on erittäin vähäistä jopa pitkillä matkoilla. Tämä tekee kvartsilasista tehdyistä kuiduista optimaalisia pitkien matkojen optisille yhteyksille. (AD Net)

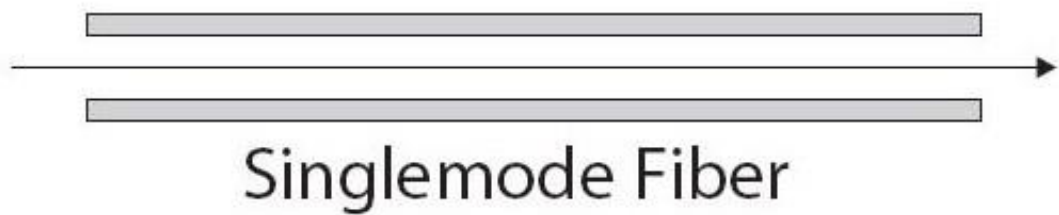
Toinen raaka-aine josta tehdään valokuituja ovat erilaiset muovit. Muovista tehdyllä valokuidulla on huomattavasti huonompi valon johtavuus kuin kvartsilasista tehdyllä valokuidulla, mutta sen etuina ovat matalammat kustannukset sekä parempi taivutuksen kestävyys kuin kvartsilasi valokuiduilla. Tästä johtuen muovista tehtyjä valokuituja käytetään lyhyen matkan optisissa yhteyksissä. (AD Net)

Valokuidun murtolujuus on suuri, yleisesti noin 5 GPa. Tämä tarkoittaa yli 50 N voimaa ja noin 5 % venymää valokuidulle jonka halkaisija on 125 μm . Valokuiduilla on hyvin pieni elastisuus, jotenka venyttävän rasituksen alla ne katkeavat äkillisesti. Jos valokuidussa on mikrohalkeamia tai edes naarmuja ne ovat heikkoja kohtia joista valokuitu todennäköisesti katkeaa rasituksen alla. (Nestor Cables, 20)

Valokuitu joutuu huomattavan rasituksen alle ja voi myös katketa, jos valokuidulle määritettyä minimitaivutussädettä ei huomioida. Suositeltu minimitaivutussäde on 30-40 mm. Taivutetussa valokuidussa valo vaimenee enemmän kuin valokuidussa jota ei ole taivutettu. Taivutussietoisia valokuituja on kehitetty ja niitä voidaan taivuttaa pienemmille taivutussäteille kuin 30 mm, ilman merkittävää vaimennuksen lisääntymistä. Näissäkin valokuiduissa taivutus tuottaa rasitusta valokuidun rakenteelle ja voi lyhentää valokuidun käyttöikää tai aiheuttaa valokuidun katkeamisen. (Nestor Cables, 20)

2.4 Yksimuotokuitu

Yksimuotokuitu on yksi lasikuitu, jonka ytimen halkaisija on 8-10 μm riippuen valokuidusta ja kapeutensa vuoksi valo etenee kuidussa yhtenä valonsäteenä. Tämä tarkoittaa sitä, että valokuituun lähetetty valo etenee ilman vaiheen muutosta (Kuva 3). Myöskään muotodispersiota ei esiinny eli lähetetty pulssi vastaanotetaan identtisesti, joksikin vaimentuneessa, muodossa. (Nestor Cables, 17-18)



KUVA 3. Yksimuotokuitu ja valon eteneminen. (Yksimuoto)

Näissä kuiduissa käytettävä valo on 1300 nm ja 1550 nm alueilla. Näillä alueilla valo on näkymätön paljaalle silmälle ja yksimuotokuitujen kanssa käytetään lasereita valon lähettämiseen. (Technobyte)

Yksimuotokuiduilla on suurempi kaistanleveys kapasiteetti sekä vähemmän altis lähetetyn valon häviöille, kun monimuotokuidut josta johtuen yksimuotokuidut pystyvät siirtämään enemmän dataa ja nopeammin. Yksimuotokuitu pystyy jopa 50 kertaa pidempiin yhteyksiin kuin monimuotokuitu. Korkea kapasiteetti ja vähäinen häviö siirrettyssä valossa tekee yksimuotokuiduista parhaan valinnan pitkänmatkan yhteyksille. (AD Net)

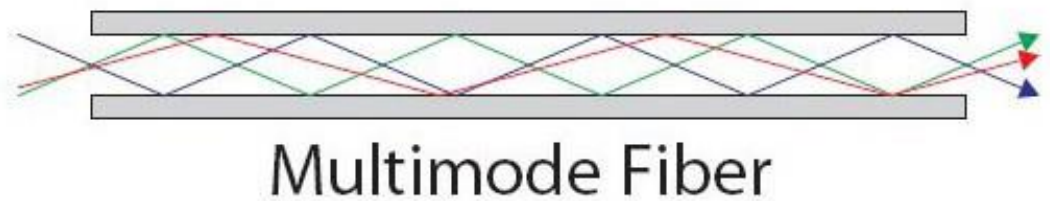
2.5 Monimuotokuitu

Monimuotokuituja on kahta eri tyyppiä, askeltaitekertoiminen ja asteittaistaitekertoiminen monimuotokuitu. Näissä kuiduissa käytettävä valon aallonpituus on 850 nm tai 1550 nm. Valonlähteenä monimuotokuiduille yleensä käytetään halvempia ratkaisuja kuten LED, koska ne ovat tarkoitettu lyhyemmän matkan yhteyksille, jotenka laseria matalampi valoteho riittää. Molemmissa monikuitu tyypeissä valonsäteet kulkevat eripituiset matkat

ja saapuessaan vastaanottiin ne saapuvat eriaikoihin koska ne ovat eri vaiheissa suhteessa toisiinsa.

2.5.1 Askeltaitekertoiminen monimuotokuitu

Askelkuidussa taitekerroin muuttuu ytimen ja vaipan rajapinnassa hyvin hyppäyksellisesti. Ytimen halkaisija on huomattavasti suurempi kuin käytetyn valon aallonpituus ja se johtaa siihen, että valokuidussa etenee useampi valonsäde. Jokaisella näistä säteistä on uniikki heijastuskulma (Kuva 4). Tämä johtaa siihen, että jokaisella valonsäteellä on eripituinen matka kuljettavana johtaa tämä pulssin laajenemiseen sen edetessä kuidussa. Normaalin valotehon vaimenemisen lisäksi tämä lisää pulssin vaimenemiseen myös pulssin leviämistä koska valonsäteet vastaanotetaan eriaikoihin. (Helkama, 19)

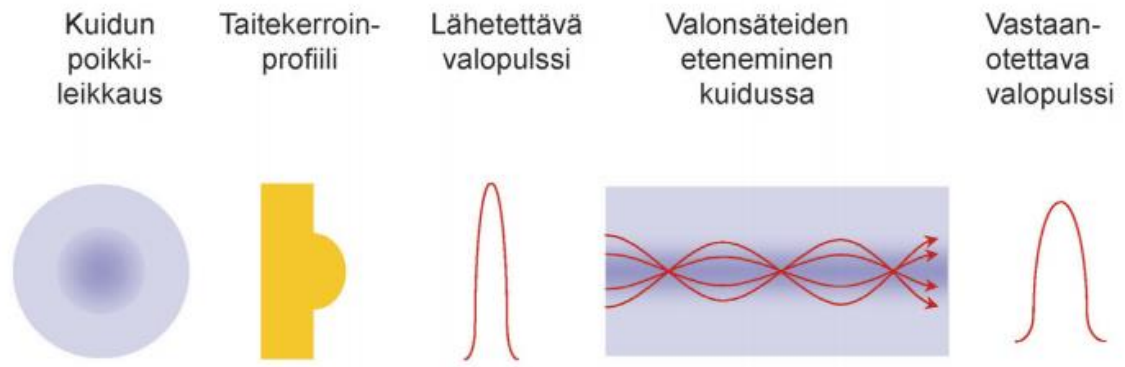


KUVA 4. Askeltaitekertoiminen monimuotokuitu ja valon eteneminen. (Monimuoto)

Askelkuituja ei enää nykyaikana juurikaan käytetä tiedonsiirrossa. (Helkama, 18)

2.5.2 Asteittaistaitekertoiminen monimuotokuitu

Asteittaiskuidussa taitekerroin valokuidun ytimessä muuttuu asteittaisesti kuorta kohti poikkileikkauksen säteen suunnassa. Tämä tarkoittaa sitä, että valonsäteet etenevät vähitellen taittuen toisin kuin askelkuidussa. Vaikka asteittaiskuidussa valonsäteet myös kulkevat useissa eri muodoissa kuten askelkuidussa ero on, että ytimen reunoilla valon nopeus on korkeampi kuin ytimen keskiosassa. Tästä johtuen erot valonsäteiden etenemisajoissa ovat pienemmät kuin askelkuidussa (Kuva 5). Täten pidemmän matkan kulkevat valonsäteet kulkevat nopeammin, pulssin levenemä sekä valon vaimennus ovat pienempiä kuin askelkuidussa. Asteittaiskuiduissa ytimen halkaisija on yleensä 50 μm tai 62,5 μm . (Helkama, 19; Nestor Cables, 17)



KUVA 5. Asteittaistaitekertoiminen monimuotokuitu ja valon eteneminen. (Nestor Cables, 17)

2.6 Valokaapeleiden rakenne

Valokaapelien tarkoitus voidaan ajatella samaksi, kun perinteisten kuparikaapeleiden. Niiden rakenteiden ja valmistukseen käytettyjen materiaalien tarkoitus on suojata niiden sisällä olevia johtimia ympäristöltä ja siinä ilmeneviltä vaaroilta siten, että johtimet pysyvät hyväkuntoisina ja toimivat tarkoitetulla tavalla. Valokaapelien kuuluu suojata sisällä olevia valokuituja kaapelin koko arvioidun eliniän ajan, joka on noin 30 vuotta. (Nestor Cables, 31)

Suunniteltaessa valokaapelia on otettava huomioon, että onko kaapeli tarkoitettu ulkoi- vai sisäkaapeliksi. Ulkokaapelit voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin: (Nestor Cables, 31)

- Kanavakaapelit
 - Perinteinen kanavakaapeli joka asennetaan joko puhaltamalla tai vetämällä maaraivausputkituksiin tai kanavaputkiin.
- Maakaapelit
 - Voidaan asentaa suoraan maahan esimerkiksi auraamalla tai kanavaputkiin.
- Ilmakaapelit
 - Voidaan asentaa / ripustaa pylväisiin.
- Vesistökaapelit
 - Voidaan asentaa / laskea vesistöihin.

Rakenteellisesti on tärkeä huomioida seuraavat kaapelin osat: (Nestor Cables, 31)

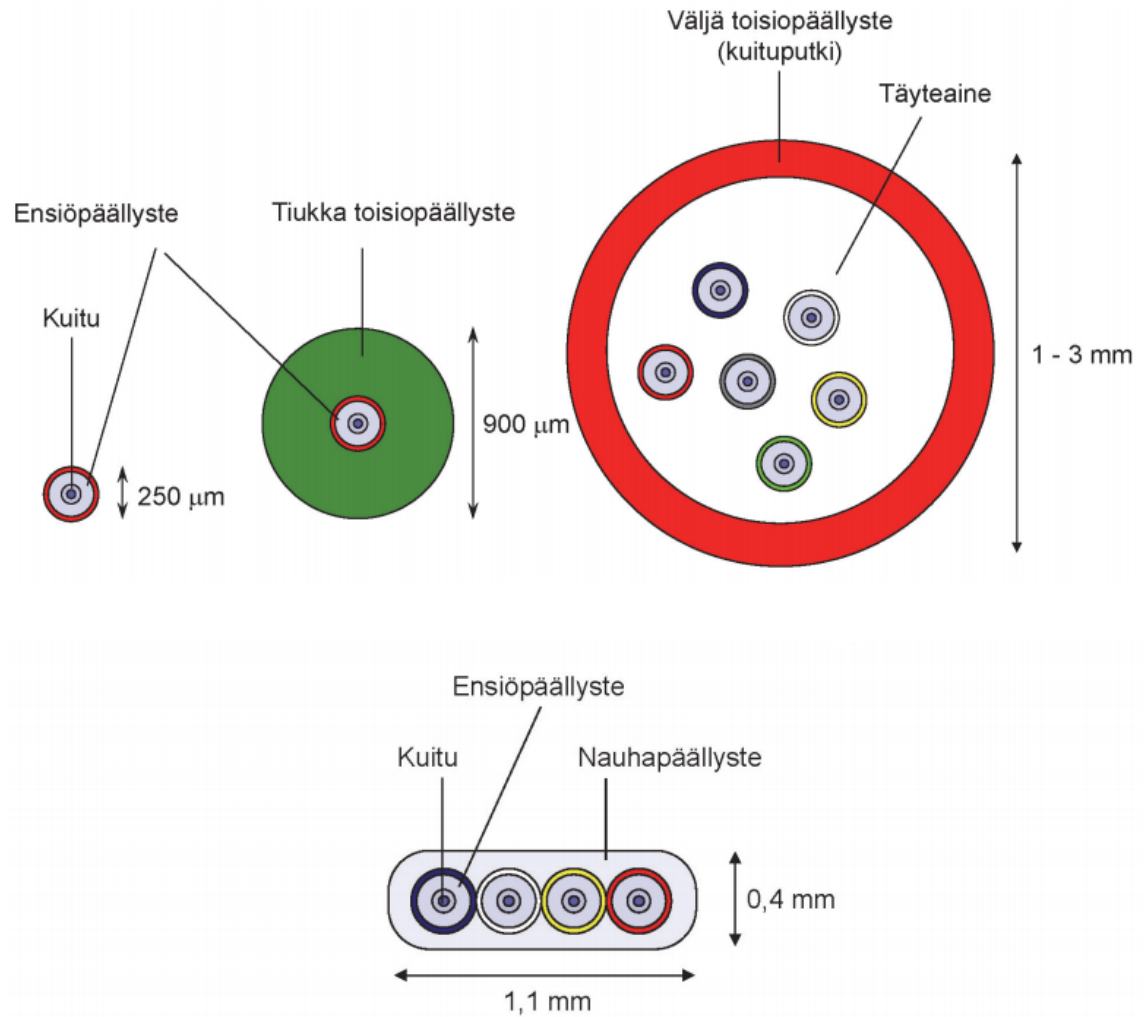
- Valokuidut ja niiden suojaaminen
- Sydänrakenne
- Veto- ja lujite-elementit tarvittaessa
- Vesitiiviysmateriaalit ja -rakenteet tarvittaessa
- Suojavaippa ja muut suojaavat rakenteet

2.6.1 Valokuitujen suojaaminen

Valokuidun valmistuksessa siihen laitetaan suojavaippa, ensiöpäällyste. Tämä on yleensä akrylaattimuovia ja halkaisijaltaan 250 µm. Se suojaa valokuitua naarmuuntumiselta ja lialta. Suojavaippa on kuorittavissa jatkosta tai liittimen liittämistä varten. Kuorimiseen tarvittavan voiman ollessa 3-3,5 N ei ole vaaraa kuidun vaurioittamisesta. Ensiöpäällysteet myös värjätään eri värein tunnistamista varten. (Nestor Cables, 31)

Ensiöpäällysteen lisäksi kuituun voidaan lisätä toisiöpäällyste, tämä riippuu kaapelin rakenteesta ja tarpeista. Tiukka toisiöpäällyste, väljä toisiöpäällyste ja nauhapäällyste (Kuva 6) ovat kolme eniten käytettyjä toisiöpäällysteitä. (Nestor Cables, 31-32)

- Tiukka toisiöpäällyste
 - Tämä on polymeerikerros, joka laitetaan tiukasti kiinni ensiöpäällysteseen. Kuidun halkaisija johon lisätty tiukka toisiöpäällyste on 900 µm tai 500 µm. Tämä päällyste lisätään esimerkiksi yksi- tai kaksikuituisiin kytkentäkaapeleihin.
- Väljä toisiöpäällyste
 - Tämä on 1-3 mm halkaisijaltaan oleva muoviputki. Putken sisälle mahtuu 6-24 ensiöpäällystettyä valokuitua. Väljää toisiöpäällystettä käytetään esimerkiksi kerratuissa kaapelirakenteissa koska kuiduilla on tilaa olla väljästi putkessa, täten kuituihin ei kohdistuisi rasitusta valokaapelia vedettäessä tai taivutettaessa.
- Nauhapäällyste
 - Rinnakkain asetuista ensiöpäällystetyistä valokuiduista muodostetaan nauha käyttäen kuitunauhoja ja nauhapäällystettä. Kuitunauhassa voi olla 2-24 ensiöpäällystettyä valokuitua. Päällyste voidaan kuoria jatkoksen tekemistä varten.



KUVA 6. Toisiöpäällysteet. (Nestor Cables, 32)

2.6.2 Päärakenteet

Valtaosa valokaapeleista on suunniteltu jonkin seuraavan neljän päärakenteen ympärille: (Nestor Cables, 32)

- Kerrattu rakenne
- Joustoputkirakenne
- Keskiputki- eli ontelorakenne
- Urarunkorakenne

Kerratussa rakenteessa toisiöpäällystetyt valokuidut tai valokuituryhmät on kerrattu samankeskisest keskielementin ympärille (Kuva 7). Keskielementin toinen toiminta on olla

kaapelin vetoelementti. Kertaus on vaihtosuuntaista, eli kertaussuunta vaihtuu määrävällein. Kuituputkien halkaisija on 1-3 mm ja yhdessä putkessa voi olla enimmillään 24 valokuitua. Kuituputkia voidaan laittaa useaan kerrokseen kerratussa rakenteessa, jotenka tällä rakenteella päästään suuriin valokuitumääriin. Siksi kerrattu rakenteiset kaapelit ovat liityntäverkkojen yleisin kaapelityyppi. (Nestor Cables, 33)

Joustoputkirakenteella on yhdenmukaisuuksia kerratun rakenteen kanssa. Tämäkin rakenne käyttää kuituputkia, mutta ne ovat pienempiä ja taipuisimpia kuin putket kerratun rakenteen kaapelissa. Tässä rakenteessa ei ole keskielementtiä, jotenka kaapeliin lisätään tarvittava vetolujuus muilla tavoilla. Tyypillisin tapa on laittaa vetoelementit kaapelin vaipan sisälle (Kuva 7). Valokuitumäärät joihin jousiputkirakenteella päästään ovat suuria ja usein käytetäänkin liityntäverkon syöttö- ja jakokaapelina. (Nestor Cables, 33)

Keskiputkirakenne muodostuu yhdestä putkesta, jonka sisällä ensiöpäällystetyt valokuidut sijaitsevat väljästi. Tarvittava vetolujuus saadaan laittamalla vetoelementit kaapelin vaipan sisälle tai laittamalla lujitekerros kaapelin vaipan ja sydämen väliin (Kuva 7). Keskiputkirakenne on tyypillinen kaapelirakenne runkoverkoissa. Yleisimmin käytetty kaapelirakenne myös liityntäverkkojen talokaapelina. Valokuitujen määrä keskiputkirakenteella on rajoitetumpi ja tyypillisesti enintään 96 kuitua. (Nestor Cables, 33)

Urarunkorakenteessa kaapelin sydän muodostuu muovitangosta, joka on uritettu pituussuunnassa (Kuva 7). Urat kiertävät runkoa vaihtosuuntaisesti. Ensiöpäällystetyt valokuidut sijoitetaan väljästi uriin. Tätä rakennetta käytetään vain talokaapeleissa ja sisäverkkojen kaapeleissa. Valokuitumäärä on 4-48 valokuitua kaapelissa. (Nestor Cables, 33)



KUVA 7. Päärakennetyypit. (Nestor Cables, 34)

2.6.3 Vaippa

Vaippa pitää kaapelirakenteen koossa sekä suojaa kaapelin sydäntä. Ulkokaapeleiden vaippa on tehty polyeteenimuovista, joka on väripigmentiltään hiilimustaa, jotta ne sietävät paremmin auringonvaloa. Sisäkaapeleiden ja sisä-/ulkokaapeleiden vaippa on tehty itsestään sammuvasta, vähän savua muodostavasta ja halogeenittomasta termoplastisesta polymeeristä. Tällä parannetaan sisäkaapeleiden paloturvallisuutta, kun tulipalon sattuessa kaapelit eivät syty herkästi, eivätkä palaessaan vapauta savua tai myrkyllisiä kaasuja ilmaan. (Nestor Cables, 36)

8-rakenteisissa ilmakaapeleissa kannatinköysi on osa vaipparakennetta ja kiinnitetty vaippaan välikannaksen avulla (Kuva 8). (Nestor Cables, 37)



KUVA 8. Ilmakaapeli. (Ilma)

3 VALON VAIMENEMINEN VALOKUIDUSSA

Valon edetessä valokuidussa se vaimenee useiden eri tekijöiden takia kuljetun matkan kasvaessa. Valon vaimenemista valokuidussa mitattaessa verrataan ulostulevan valon tehoa valokuituun lähetetyn valon tehoon. Suosituin käytössä oleva valokuitu, yksimuotokuitu, vaimentaa vähiten 1550 nm aallonpituuden valoa. Vaimenemisen yksikkö on dB/km.

Koska valokuituverkot ovat keskeisessä roolissa nykyaikaisessa tietoliikenteessä on tärkeää ymmärtää eri muotoja, joissa valon vaimenemista ilmenee. Ymmärtäessä näitä ilmiöitä on helpompi tunnistaa tilanteita joissa vaimenemista voi ilmaantua.

3.1 Absorptio

Absorptio on yhdenmukainen ilmiö. Sama määrä samaa materiaalia aina absorboi saman määrän valosta samalla valon aallonpituudella. Se on myös kumulatiivinen ilmiö. Se on riippuvainen materiaalin kokonaismäärästä, jonka lävitse valonsäde kulkee. Esimerkiksi ensimmäisen senttimetrin lasia absorboidessa 5 % valosta, seuraava senttimetri lasia absorboi 5 % jäljellä olevasta valosta ja niin edelleen. (FOSCO, Optical Fiber Loss)

Luontaiseksi materiaalia absorptioksi kutsutaan sitä, kun valokuidussa etenevä valo vuorovaikuttaa yhden tai useamman materiaalin kanssa joista lasin rakenne muodostuu. Tämä vuorovaikutus tuottaa vaimentumista. Tämän absorption aiheuttamaan valon vaimentumiseen ainut ratkaisu on vaihtaa valokuidun lasin raaka-aineita tarvittaessa. (FOSCO, Optical Fiber Loss)

Ulkopuolisten epäpuhtaiden ionien aiheuttama absorptio tapahtuu, kun valo vuorovaikuttaa valokuidun lasissa esiintyvien metalli ja vesi ionien kanssa. Näillä ioneilla on hyvin suuri vaimentava vaikutus valoon, jotenka valokuidun lasin valmistusprosessin on oltava erittäin hyvä. Valokuiduissa käytettävän lasin on oltava erittäin puhdasta ja virheetöntä. (FOSCO, Optical Fiber Loss)

Nykyaikaiset valmistusmenetelmät tuottavat tarvittavan puhdasta lasia, että kaikki absorption tuottamat vaimennukset ovat pitkälti eliminoitu tai niin vähäisiä etteivät ne enää vaikuta merkittävästi valon vaimenemiseen valokuiduissa. (FOSCO, Optical Fiber Loss)

3.2 Rayleigh sironta

Rayleigh sironta kuvaa valon elastista sirontaa partikkeleiden vaikutuksesta jotka ovat huomattavasti pienempiä kuin valon aallonpituus. (FOSCO, Optical Fiber Loss)

Se on pääasiallinen lineaarinen sironta. Sen aiheuttavat pienet epähomogeenisyydet valokuidun lasissa, jotka muodostuvat lasin valmistusprosessin aikana. Näitä ovat esimerkiksi lasin rakenne ja tiheyden vaihtelut, nämä aiheuttavat muutoksia valokuidun lasin taitekertoimen muutoksia. Tämä tarkoittaa sitä, että valokuidun taitekerroin saattaa hieman muuttua jatkuvasti, kun edetään valokuitua pitkin. Rayleigh sironnan osuus kaikesta valokuidussa tapahtuvasta valon vaimenemisesta on yli 90 %. (FOSCO, Optical Fiber Loss)

Valon kulkiessa ytimessä se vuorovaikuttaa ytimessä olevien kvartsimolekyylien kanssa. Nämä törmäykset valon ja kvartsimolekyylien kesken tuottavat Rayleigh sirontaa. Jos hajautettu valo säilyttää kulman joka mahdollistaa eteenpäin kulkemisen ytimessä vaimentumista ei tapahdu. Jos hajautettu valo ei säilytä kulmaa joka mahdollistaa eteenpäin kulkemisen ytimessä se ohjautuu ulos ytimestä aiheuttaen vaimentumista. Osa hajautuvasta valosta voi ohjautua takaisin valonlähdeä kohti valokuidun vaippaa pitkin. (FOSCO, Optical Fiber Loss)

3.3 Fresnel heijastuminen

Kun valokuitu liitetään toiseen valokuituun tai liitinporttiin saattaa osa valosta heijastua takaisin lähdevalokuituun. Valo joka heijastuu takaisin, vaimentuu täysin. Tätä heijastumista tapahtuu kaikilla valokuitu liitännöillä. Tämän Fresnel heijastumisen aiheuttaa asennusmuutos taitekertoimessa kuitujen liitospisteessä. Tämä muutos taitekertoimessa yleensä johtuu pienestä välistä kahden kuidun pään välissä ja se on yleensä ilmarako. (Integrated Publishing, Reflection Losses)

Fresnel heijastuminen tapahtuu kahdesti valokuidusta valokuituun liittynässä. Ensin osa valosta heijastuu takaisin valokuituun, josta valo on tulossa. Sitten valo heijastuu toisen kerran takaisin, kun se siirtyy vastaanottavaan valokuituun. Tämän heijastuksen tuottama valon vaimennus voi olla erittäin merkittävää. Jotta Fresnel heijastuksen tuottama vaimentuminen olisi mahdollisimman vähäistä voidaan valokuitujen väliin jäävä ilmarako täyttää erikoisgeelillä. Tällä geelillä vähennetään taitekertoimen muutosta valokuitujen liitospisteessä joka taas vähentää Fresnel heijastusta. Tämän erikoisgeelin käyttöä suositellaan kaikissa tilanteissa, joissa tehdään valokuidusta valokuituun liitos, joka on yleensä mekaanisesti tehty valokuidun jatkaminen. (Integrated Publishing, Reflection Losses)

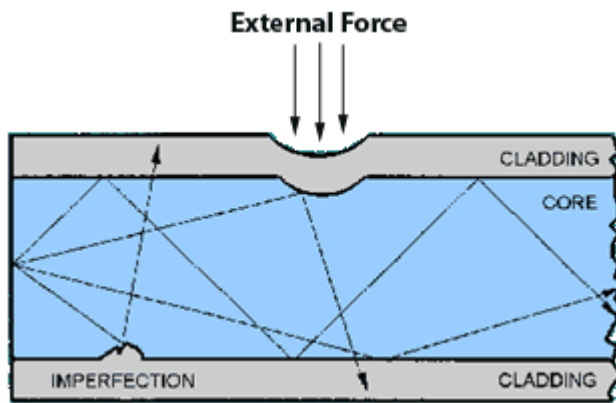
3.4 Valokuidun taipumisen tuottama vaimeneminen

Taipumisesta johtuva vaimeneminen voidaan jakaa mikro- ja makrotaipumiin. Kummatkin ovat vaimenemisen muotoja jotka liittyvät suoraan valokuidun rakenteen eheyteen ja virheettömyyteen.

3.4.1 Mikrotaipuma

Mikrotaipumat ovat valokuidun rakenteessa olevia ja siihen muodostuvia mikroskooppisia virheitä. Näitä virheitä ovat ulkoisen voiman tuottamat painautumat valokuidun vaippaan ja valokuidun valmistuksen aikana muodostuneita virheitä vaippaan sekä ytimeen (Kuva 9). Nämä virheet vaikuttavat valonsäteiden kulkemiseen valokuidun ytimessä vaikuttamalla niiden heijastuskulmiin. Koska pienempi osa valonsäteistä säilyttää niiden kriittisen heijastuskulman johtuu niistä enemmän valokuidun vaippaan, joka tuottaa vaimenemista. Valonsäteet voivat myös saada identtisen kriittisen kulman, jolloin ne yhdistyvät ja tämä tuottaa vaimentumista. (Integrated Publishing, Attenuation)

Mikrotaipumien tuottama valon vaimennus on parhaiten havaittavissa valon aallonpituuksilla 1310 nm, 1550 nm ja 1625 nm. (Lightwave)



KUVA 9. Mikrotaipuma. (Mikrotaipuma)

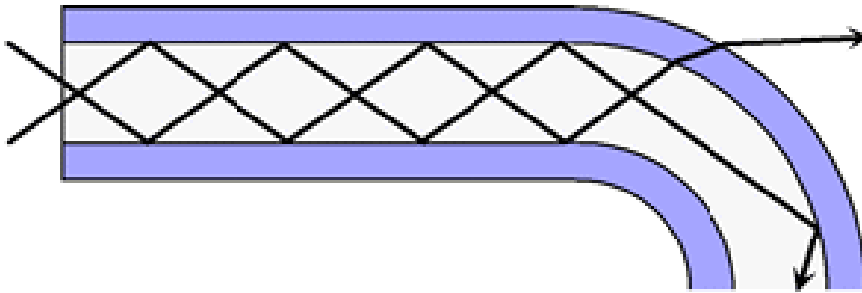
Mikrotaipumien aiheuttamaa vaimennusta voidaan vähentää parantamalla valokuitujen suunnittelua ja valmistusprosesseja. Valokuidun käsittelyn ollessa varovaista asentaessa liitintä tai jatkaessa sitä toisella valokuidulla ilmenee sen tuottamia mikrotaipumia vähemmän.

3.4.2 Makrotaipuma

Makrotaitokset ovat taitoksia joissa valokuidun kaarevuussäde on suuri suhteessa sen halkaisijaan. Jos valokuitu asennetaan siten, että siihen tulee liian tiukkoja taitoksia alkaa valokuidussa muodostua makrotaipuman aiheuttamaa valon vaimentumista. Valokuituja asennettaessa makrotaipumien tuottamia vaimennuksia on helpompi välttää kuin muita valon vaimentumisen muotoja, koska asentajan tarvitsee vain huomioida asennettavan valokuidun kaarevuussäde ja varmistaa ettei taita valokuitua liikaa. (Integrated Publishing, Attenuation)

Valopulssin osuuden taitoksen ulkoreunalla tarvitsee kulkea nopeammin kuin osuuden joka on taitoksen sisäreunalla, jotta pulssin muoto säilyisi yhtenäisenä. Tästä johtuen ulkoreunalla olevan osuuden tarvitsisi pystyä kulkemaan nopeammin, kun valon maksimi nopeus on käytettävässä väliaineessa. Koska tämä on mahdotonta, osa valopulssista joka kulkee taitoksen ulkoreunalla vuotaa ulos valokuidusta (Kuva 10). Mitä tiukempi taitos valokuidussa sitä enemmän valoa vuotaa ulos kuidusta ja sitä enemmän tapahtuu vaimenemista. (Integrated Publishing, Attenuation)

Makrotaipumien tuottama valon vaimennus on parhaiten havaittavissa valon aallonpituuksilla 1550 nm ja 1625 nm. (Lightwave)



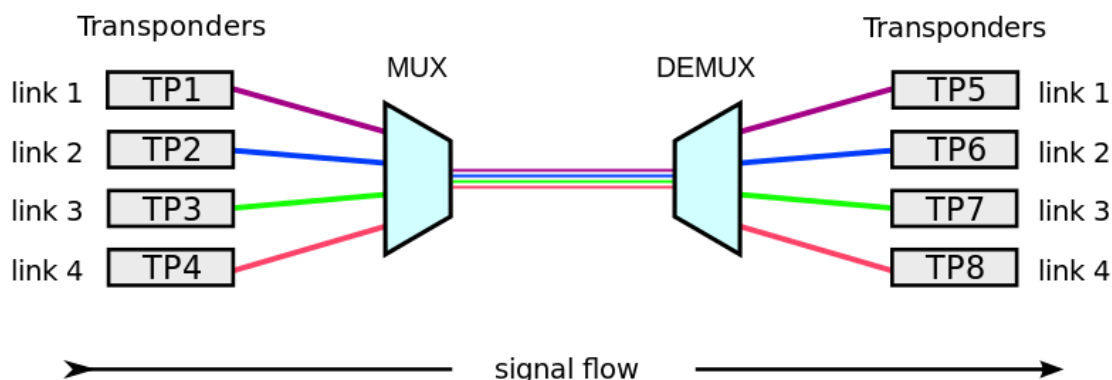
KUVA 10. Makrotaipuma. (Makrotaipuma)

Makrotaitoksen ollessa tarpeeksi tiukka se fyysisesti katkaisee valokuidun.

4 WDM

WDM on tekniikka, jota käytettäessä optisissa verkoissa multipleksereiden ja demultipleksereiden kanssa mahdollistaa monikanavajärjestelmien luomisen. Tämän tekniikan ansiosta voidaan nostaa olemassa olevien optisten verkkojen tiedonsiirtokapasiteettia, ilman tarvetta jatkuvasti lisätä uusia valokuitukaapeleita verkon runkoon. Monikanavajärjestelmät toimivat 1550 nm aallonpituudella yksimuotokuiduissa, koska tällöin valon vaimeneminen on vähäisintä. (Infinera, WDM)

Riippuen käytössä olevasta aallonpituudesta WDM jaetaan kahteen eri multipleksointitapaan, CWDM ja DWDM. Kumpikin tapa perustuu multipleksoinnin perusperiaatteeseen, että useampi datasiignaali yhdistetään toisiinsa, lähetetään yhden siirtotien lävitse ja vastaanotettaessa erotetaan toisistaan (Kuva 11). (Infinera, WDM)



KUVA 11. WDM:n toimintaperiaate. (WDM)

4.1 CWDM

Kustannustehokkuuden ollessa tärkeä osa verkon toteuttamista on CWDM:n valitseminen monikanavajärjestelmän toteuttamiseksi kustannustehokkain valinta. (Infinera, WDM)

CWDM pystyy siirtämään maksimissaan 16 kanavaa kerrallaan valon aallonpituuksien 1270 nm ja 1610 nm välillä. Kanavien välit ovat 20 nm leveät. Jokainen kanava kykenee 2.5 Gb/s, 4 Gb/s tai 10 Gb/s siirtonopeuksiin. CWDM:llä toteutettuja yhteyksiä ei voida vahvistaa perinteisellä optisella vahvistimella ja tästä johtuen yhteyksien pituus rajoittuu noin 100 km maksimissaan. Kanavien välien ollessa suuremmat kuin DWDM ratkaisussa

voidaan CWDM:n kanssa käyttää yksinkertaisempia vastaanottimia, tämä alentaa verkon toteuttamisen kustannuksia. (Infinera, WDM)

CWDM:n ollessa kustannustehokkaampi kuin DWDM sen rajoituksia ovat yhteyksien maksimi pituus sekä kanavien määrä. Tarvittaessa voidaan luoda CWDM/DWDM hybridi verkkoja. Tämä mahdollistaa kustannuksien pitämisen mahdollisimman alhaisena samalla, kun voidaan joustavasti luoda verkkoja ja muokata verkkojen osia erilaisiin tarpeisiin. (Infinera, WDM)

4.2 DWDM

DWDM:ää käytetään, kun halutaan siirtää erittäin suuria määriä dataa pitkiä etäisyyksiä verkoissa. Tämä on kustannustehokas ratkaisu tähän tarpeeseen ja pystyy käsittelemään runkoverkon valtavan kaistanleveyden toisin kuin CWDM. (Infinera, WDM)

DWDM yhdistää jokaisen lähetettävän signaalin yhdeksi ja lähettää ne samanaikaisesti, jokaisella signaalilla on niiden oma valon aallonpituus. Käytettäessä tätä multipleksointitapaa on mahdollista lähettää yli 80 kanavaa samanaikaisesti yhtä valokuitua pitkin. Teknologian edetessä kehittyi tekniikka, jota kutsutaan super-channel:ksi. Super-channelin toiminnasta kohdassa 4.2.1. (Infinera, WDM)

DWDM käyttää valon aallonpituuden 1530nm ja 1565nm väliä ja vahvistimien avulla pystyy siirtämään dataa jopa tuhansia kilometrejä. Siirrettävän datan määrä kasvaa vuosi vuodelta Internetin käyttäjien ja laitteiden lisääntyessä, jotenka tarve kapasiteetille siirtää dataa myös kasvaa. DWDM yhdessä super-channel teknologian kanssa on vastaus tähän tarpeeseen kustannustehokkaasti, antaa kapasiteetin skaalautuvuutta ilman tarvetta lisätä uusia valokuituja verkon rakenteeseen. (Infinera, WDM)

4.2.1 Super-channel

100 Gb/s vuonna 2012-2013 oli paras siirtonopeus mitä odotettiin valokuituverkoilta, joissa käytettiin DWDM multipleksaus tekniikkaa. Kasvava tarve tiedonsiirto kapasiteetille johti parempien teknologioiden kehittämiseen ja yksi niistä on super-channel. Tällä

yhdistetään useita optisia kantoaaltoja yhdeksi yhdistelmäsignaaliksi ja sen vahvuus on käyttäjän määriteltävissä. Tämän jälkeen yhdistelmäsignaali lähetetään yhdessä lähettimen toimintasyklissä. Super-channel antaa DWDM verkoille tarvittavaa tiedonsiirtokapasiteetin skaalautuvuutta, ja kykenee yli 1 Tb/s tiedonsiirtonopeuksiin. (Infinera, Super-Channels)

Ensimmäisen sukupolven ”jaetun spektrin” super-channel:t pystyvät 8 Tb/s siirtonopeuksiin valon 1530nm - 1565nm aallonpituuden välillä. Super-channel:t ovat siis kriittisessä osassa sitä, kun palveluidentarjoajat alkavat siirtyä korkeampiin tiedonsiirtonopeuksiin kuin 100 Gb/s. (Infinera, Super-Channels)

Joustavuus on tärkeä osa super-channel teknologiaa. Tällä joustavuudella voidaan taata tarpeiden mukainen tasapaino tiedonsiirtokapasiteetin ja -kantaman välille. Tämä suoraan vaikuttaa siihen kuinka suuri kapasiteetti verkossa on tiedonsiirrolle. (Infinera, Super-Channels)

5 VALOKUIDUN JATKAMINEN

Valokuituja täytyy jatkaa, kun niitä päätellään liittimiin tai liitettäessä kaksi valokuitua toisiinsa. Valokuidun jatkamiseen on kaksi eri tapaa, hitsaamalla tehty jatkos ja mekaaninen jatkos. Hitsattu jatkos on yleensä parempi ja aiheuttaa vähemmän valon vaimenemista, kun mekaaninen jatkos.

5.1 Jatkaminen hitsaamalla

Hitsausjatkoksessa valokuitujen päät kohdistetaan toisiinsa vasten ja yhdistetään käyttäen valokaarta. Kohdistus ja yhdistäminen tehdään hitsauslaitteella (Kuva 12). (Helkama, 48)



KUVA 12. Valokuidun hitsauslaite. (Hitsi)

Valokuidun jatkaminen hitsaamalla tehdään seuraavissa vaiheissa: (Helkama, 48)

- Valokuidun kuoriminen
- Valokuidun puhdistaminen
- Valokuidun katkaiseminen
- Valokuitujen päiden kohdistaminen ja hitsaaminen
- Jatkoksen suojaaminen

Valokuidun kuorimisella tarkoitetaan suojavaipan poistamista valokuidun päältä. Normaalisti valokuitu kuoritaan noin 2 cm matkalta. Kuorimiseen on oma erityistyökalu. Sitä käyttämällä varmistetaan, että suojavaippaa poistaessa ei vahingoiteta vaippaa. (Helkama, 48)

Kuorimisen jälkeen kuorittu valokuidun pinta puhdistetaan alkoholia käyttäen, mutta vain hyvin kevyesti pyyhkäisten eikä hinkaten. Liian voimakas puhdistus ja hinkkaava liike voi tuottaa mikrotaipumia naarmujen muodossa vaipan pintaan. (Helkama, 48)

Katkaisemalla valokuitu saadaan jatkosta varten mahdollisimman tasainen ja kuidun akseliin nähden kohtisuora pinta. Hyvässä pinnassa kulmavirhe on alle yhden asteen. Katkaiseminen perustuu lasinleikkaamiseen. Ensin valokuituun kohdistetaan pieni vetojännite ja taivutetaan loivasti. Tämän jälkeen timanttiterää käyttäen hipaistaan valokuidun pintaa, jolloin valokuitu katkeaa tasaisesti. Katkaisemiseen on oma erityistyökalu. (Helkama, 49)

Nämä vaiheet tehdään kummallekin jatkettavalla valokuidulle, jonka jälkeen ne asetetaan hitsauslaitteeseen. Laite yleensä suorittaa valokuitujen päiden kohdistamisen ja yhteen hitsaamisen automaattisesti, mutta halvemmissä laitteissa ja kenttäkäyttöisissä versioissa osa toiminnoista voivat olla manuaalisia. Nykyaikaiset hitsauslaitteet pystyvät arvioimaan jatkoksen tuottaman valon vaimennuksen ja ilmoittamaan arvon käyttäjälle ennen hitsauksen tekemistä. Hitsaamalla saavutetaan alle 0.1 dB jatkosvaimennus yksi- ja monimuotokuiduilla. (Helkama, 49)

Lopuksi jatkos suojataan kuitujatkossuojalla. Suoja on 40 – 60 mm pitkä kutistemuovi-hylsy, jonka sisällä on liima-ainetta sekä metallipinna. Pinnan tarkoitus on vahvistaa kuitujatkossuojan rakennetta ja tehdä liitoksesta mekaanisesti kestävämpi. Hitsauslaitteissa on joko sisäänrakennettuna tai varusteena mukana uuni joka on tarkoitettu kuitujatkossuojan kutistamiseen. (Helkama, 49)

5.2 Mekaaninen jatkaminen

Mekaaninen jatkos tehdään täysin manuaalisesti. Valokuitujen päät kohdistetaan toisiinsa V-uran tai muoviholkin reiän avulla. Kohdistuksen jälkeen valokuidut lukitaan paikoilleen joko liiman tai mekaanisen puristuksen avulla. Liittimen (Kuva 13) sisällä on yleensä erikoisgeeliä, jonka tarkoitus on parantaa jatkoksen optisia ominaisuuksia ja vähentää valon vaimentumista. Mekaaninen jatkos on altis Fresnel heijastumiselle. Tyypillisesti jatkosvaimennus on 0.2 dB, mutta pienempiäkin arvoja on saavutettu. (Helkama, 50)



KUVA 13. Liitin mekaaniseen jatkokseen. (Mekaaninen)

Mekaanisen jatkamisen isoimpana etuna on hinta. Liittimet ja työkalut joilla mekaanisia jatkoksia tehdään ovat huomattavasti halvempia kuin hitsauslaitteet, joiden hinta on tuhansia euroja. Haittana on jatkoksen tekemisen olevan täysin sen tekijän käsissä. Koska hyvän valokuitujatkoksen tekeminen vaatii suurta huolellisuutta ja tarkkuutta on käsin tehtävässä jatkoksessa enemmän epävarmuustekijöitä, kuin automatisoidussa hitsaamisessa. Mekaanisia jatkoksia on hyvä käyttää tilapäisinä valokuitujen jatkoksina, esimerkiksi tilanteessa jossa valokuitu on katkennut eikä sen korjaamiseen ole hitsauslaitetta heti saatavilla. (Helkama, 50)

6 KUITUVERKON KOMPONENTIT

Valokuiduista tehdyissä verkoissa kuten perinteisistä kuparikaapeleista tehdyissä verkoissa on erilaisia verkon toiminnan kannalta kriittisiä komponentteja. Nämä laitteet voidaan jakaa aktiivisiin ja passiivisiin komponentteihin.

6.1 Aktiiviset komponentit

6.1.1 Transceiver

Transceiveri sisältää lähettimen ja vastaanottimen samassa yksikössä (Kuva 14). Ne ovat rinnakkain suhteessa toisiinsa ja kummallakin on omat piirit, jotta ne voivat toimia yhtäaikaisesti ja itsenäisesti. Transceivereitä on sekä yksimuoto-, että monimuotokuiduille. (Sopto)



KUVA 14. Transceiver (Transceiver)

Lähetin muuntaa signaalin elektronisesta muodosta optiseen käyttäen joko laser diodia tai LED lamppua. Lähetyksen toisessa päässä vastaanottimen tunnistin tulkitsee optisen signaalin ja muuntaa sen takaisin elektroniseen muotoon. Vastaanottimen herkkyys vaikuttaa siihen, että kuinka heikon optisen signaalin se pystyy tulkitsemaan. (Sopto)

Hankkiessa transceiveriä on hyvä kiinnittää huomiota seuraaviin teknisiin ominaisuuksiin: (Sopto)

- Lähetinpuoli
 - Valonlähde
 - Spektrin leveys
 - Maksimi optinen teho
 - Nousuaika
- Vastaanotinpuoli
 - Vastaanottimen herkkyys
 - Mukautuvuus signaalin muutokseen
 - Nousuaika

Vastaanottimen nousuaika on aika, joka tarvitaan signaalin muuttumiseen kymmenestä prosentista yhdeksäänkymmeneen prosenttiin täydestä tehosta. Nousuaika on keino ilmaista vastaanottimen nopeutta. Sama pätee lähettimen nousuaikaan, ja on keino ilmaista lähettimen nopeutta. (Sopto)

6.1.2 Optinen vahvistin

Optiset vahvistimet ovat laitteita, jotka vahvistavat optista signaalia ilman, että muuttavat signaalin elektroniseksi vahvistuksen ajaksi. Nämä ovat tarpeellisia, jotta pitkät tiedonsiirto matkat olisivat mahdollisia ja ovat jaettu kolmeen luokkaan: (FOSCO, Optical Amplifiers)

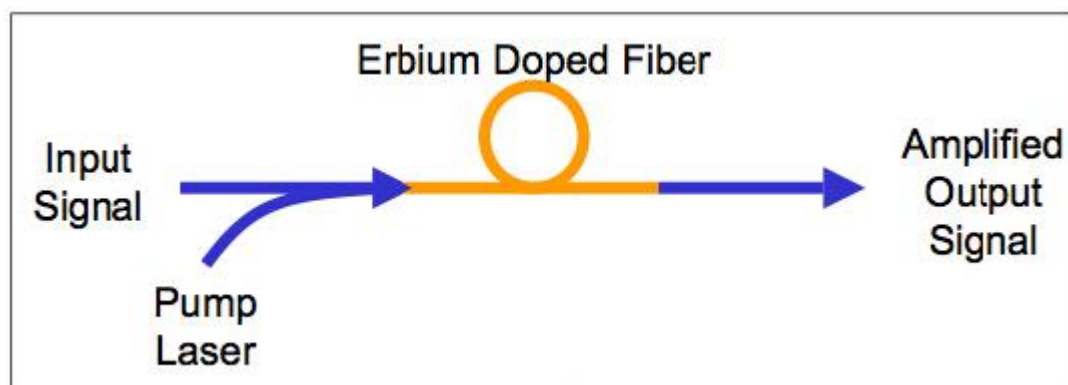
- Tehovahvistimet
 - Nämä vahvistavat optista signaalia ennen kuin se lähetetään valokuituun ja täten pidentää matkaa jonka valo voi kulkea ennen, kun sen tarvitsee joko saapua vastaanottopäähän tai toiseen vahvistimeen.
- Linjavahvistimet
 - Nämä vahvistimet ovat sijoitettu osaksi linjaa jota pitkin lähetetty optinen signaali kulkee ja vahvistaa signaalin takaisin sen alkuperäiseen tehoon, kompensoiden valokuidussa tapahtuvaa vaimentumista.

- Esivahvistimet
 - Nämä vahvistimet ovat sijoitettu juuri ennen vastaanotinta ja vahvistavat tulevaa optista signaalia ennen kuin vastaanotin tulkitsee signaalin. Tällä parannetaan vastaanottimen kykyä tulkita optinen signaali ja muuntaa se elektroniseksi signaaliksi.

Yleisin käytössä oleva vahvistin malli on EDFA. Se kehitettiin 1980 ja 1990 luvun vaihteessa ja pian sen jälkeen toteutettiin onnistuneesti kokeilu 9000 km valokuituyhteydestä, jossa ei käytetty lainkaan toistimia. EDFA:n avulla siirtoetäisyyksiä voidaan pidentää miltei loputtomasti. (FOSCO, Optical Amplifiers)

EDFA:n haittapuolena on sen toimivuus hyvin kapealla valon aallonpituusalueella, mutta samalla erbumin hyvät vahvistus ominaisuudet 1550 nm aallonpituuden alueella, jossa vaimentuminen on vähäistä, tekee siitä hyvän vahvistimen pitkille optisille yhteyksille. Erbium vahvistaa 1550 nanometrin alueella 35 nanometrin leveydellä. (FOSCO, Optical Amplifiers)

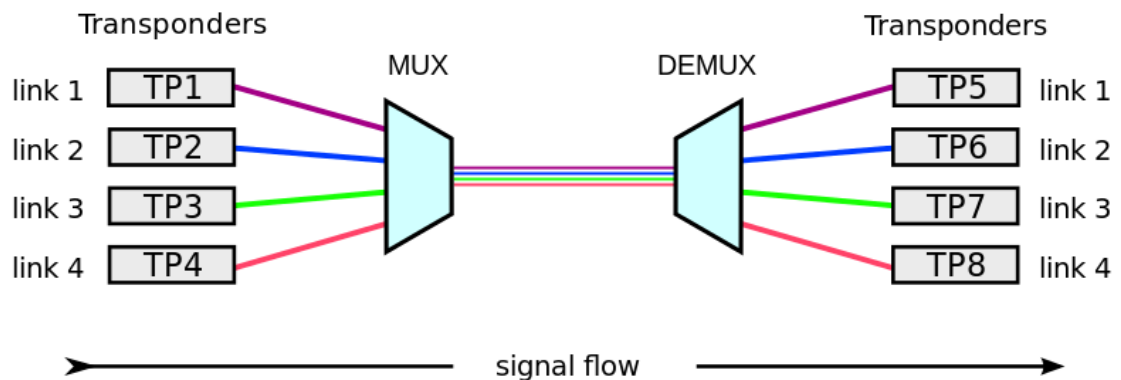
EDFA:n toimintaperiaate perustuu niin sanottuun pumppulaseriin ja erbium seostettuun kuituun (Kuva 15). Pumppulaseri lähettää valokuituun valoa joka on erbiumin aallonpituudella, 980 nm tai 1480 nm. Kun sisään tuleva signaali ja pumppulaserin signaali kulkevat erbiumilla seostetun kuidun lävitse tapahtuu tehonsiirtymistä tulevaan signaaliin. Tästä seuraa kyseisen signaalin vahvistumista. EDFA:n tuottama vahvistus on 30-40 dB. (FOSCO, Optical Amplifiers)



KUVA 15. EDFA vahvistimen toimintaperiaate (EDFA)

6.1.3 Multiplekseri ja demultiplekseri

Haluttaessa siirtää useita eri lähetyksiä yhtä valokuitua pitkin tarvitsee ne yhdistää yhdeksi lähetykseksi. Tämän tekee multiplekseri, se vastaanottaa kaikki lähetykset siihen liitetystä valokuidusta ja yhdistää ne yhdeksi lähetykseksi. Jokaisella lähetyksellä on oma yksilöllinen tunnistus. Vastaanottopäässä demultiplekseri purkaa tämän lähetyksen niiden alkuperäisiin yksittäisiin lähetyksiin ja ohjaa ne edelleen (Kuva 16).



KUVA 16. Mux/Demux toimintaperiaate. (WDM)

6.2 Passiiviset komponentit

6.2.1 Optiset liittimet

Liittimiä käytetään siellä missä liitos joudutaan usein tai ajoittain avaamaan ja sulkemaan. Näitä ovat mm. jakamoiden ja laitetilojen optiset liittokentät, mittauslaitteet ja siirrettävät järjestelmät. (Nestor Cables, 48)

Oikean liittimen valitseminen, hyvä asennus ja oikea käsittely ovat keskeisiä seikkoja verkon luotettavan toiminnan kannalta. Optiset ominaisuudet liittimellä ovat selkeästi huonommat kuin hitsausjatkoksella, mutta oikeaa liittintä oikein käyttäen päästään hyviin tuloksiin. (Nestor Cables, 48)

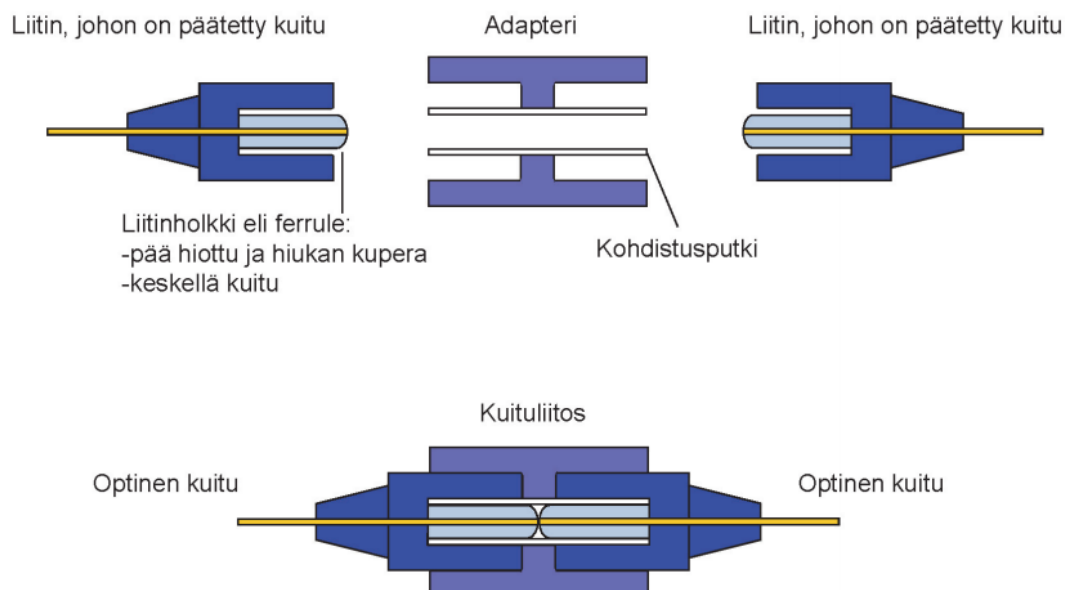
Hyvän liittimen ominaisuuksia ovat: (Nestor Cables, 48)

- Pieni liitosvaimennus
- Suuri heijastusvaimennus
- Hyvä stabiilius
- Hyvä toistettavuus

Liitosvaimennus on tehohäviötä, jota tapahtuu liitoskohdassa. Tähän vaikuttaa monet tekijät, kuten liitinpään hionnan laatu, kohdistustarkkuus, kuitujen geometria ja liitinpään puhtaus. Hyvän liittoksen liitosvaimennus on alle 0.3 dB, yksi- ja monimuotokuiduilla. (Nestor Cables, 48)

Hyvä stabiilius tarkoittaa, että liitosvaimennus ja heijastusvaimennus pysyvät mahdollisimman vakioina käyttöympäristössä, esim. tietyssä lämpötilassa. Stabiiliuteen vaikuttaa liittimen rakenteen ominaisuudet. Toistettavuus tarkoittaa, että liitin voidaan avata ja sulkea riittävän useasti, kuten 500 kertaa, ilman optisten ominaisuuksien muuttumista sallitua enempää. (Nestor Cables, 49)

Yleisin liittimen rakenne on holkkiiliitin. Siinä kuidun pää liimataan pienen reiällisen holkin sisään. Kuituliitos tapahtuu, kun kaksi tällaista holkkia kohdistetaan toisiinsa. Kohdistamiseen käytetään adapteria, sen sisällä oleva kohdistusputki ohjaa liitinholkin vastakkain ja linjaan (Kuva 17). Yleisimmin käytössä olevat liittimet, SC, LC ja MU, ovat holkkiiliittimiä. (Nestor Cables, 49)



KUVA 17. Holkkiliittimen käyttöperiaate. (Nestor Cables, 49)

SC-liitin (Kuva 18) on yleisin liitintyyppi yksi- ja monimuototekniikoissa. kehitetty Japanissa. Holkin halkaisija on 2,5 mm, kun taas seuraavaksi yleisimmän liittimen LC-liittimen holkin halkaisija on 1,25 mm. Koska LC-liittimen holkin halkaisija on puolet SC-liittimen holkista mahdollistaa se suuremman asennustiheyden esim. optisessa päätepaneelissa. (Nestor Cables, 51-53)



KUVA 18. SC-liitin. (SC)

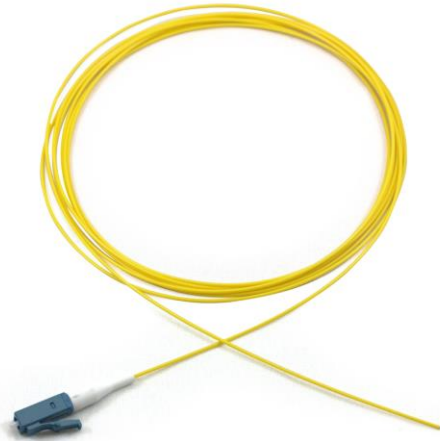
SC ja LC liittimet jakavat hyvin paljon teknillisiä ominaisuuksia kuten liitosvaimennus joka on alle 0,2 dB, heijastusvaimennuksen yksimuotokuiduilla joka on 50 dB ja toistettavuus arvon joka on yli 500 toistoa. LC-liitin (Kuva 19) on kehitetty Amerikoissa. (Nestor Cables, 52)



KUVA 19. LC-liitin (LC)

6.2.2 Häntäkuidut ja kytkentäkaapelit

Häntäkuiduilla päätetään valokuidut esimerkiksi päätepaneelissa tai työpisterasiassa. Ne ovat yleensä 1,5 m tai 2 m pituisia tiukkapäällysteisiä valokuituja, joidenka toisessa päässä on optinen liitin (Kuva 20). Pituudella varmistetaan riittävä työvara häntäkuidun ja valokaapelista tulevan valokuidun yhdistämistä varten. (Nestor Cables, 55)



KUVA 20. Häntäkuitu (Häntä)

KytKentäkaapeleita käytetään jakamoissa aktiivilaitteiden kytkemiseen kaapelointiin ja ristikytkentöjen tekemiseen. KytKentäkaapelit ovat varustettu liittimin molemmista päistä (Kuva 21). Päissä olevat liittimet valitaan tarpeen ja käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkiksi ristikytkennöissä kaapelissa voi olla sama liitin kummassakin päässä, mutta laitelii-täntöjä tehtäessä voi olla tarve eri liittimille kaapelin päissä. (Nestor Cables, 57)



KUVA 21. KytKentäkaapeli (KytKentä)

6.2.3 Vaimennin

Optisella vaimentimella voidaan vaimentaa vastaanotettavaa valotehoa, että se on vastaanottimen herkkyydelle sopiva. Vaimentimessa voi olla kiinteä vaimennus arvo (Kuva 22) tai käyttäjä voi säätää sitä esimerkiksi 5 dB pykälissä. Vaimentimissa on yleensä jokin standardiliitinrajapinta tai ne tulevat häntäkuidun kanssa. (Nestor Cables, 59)



KUVA 22. 10 dB LC-liitin vaimennin (Vaimennin)

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä optisen tietoliikenteen keskeisiin komponentteihin ja tekniikoihin, sekä niiden luomiin vaikutuksiin. Opinnäytetyön tuloksena saatiin monipuolinen ymmärrys kuinka optisen tietoliikenteen keskeisimmät komponentit toimivat ja kuinka niiden toimintaan voidaan vaikuttaa valmistus- ja asennusvaiheessa, sekä käyttäjien toimesta. Tämän ymmärryksen kanssa voidaan verrata optista tiedonsiirtoa muihin käytössä oleviin tiedonsiirto teknologioihin, punnita sen etuja ja haittoja suhteessa niihin.

Työstä saadun ymmärryksen avulla voidaan todeta, että optinen tietoliikenne on tullut pysyväksi osaksi ja hyvin suosituksi ratkaisuksi kaikkien kokoluokkien tietoliikenne tarpeisiin. Teknologia helposti skaalautuu mannerten välisistä yhteyksistä aina omakotitalon tietoliikenne tarpeisiin saakka, samalla tarjoten datan siirtonopeuksia, johon muut kilpailevat teknologiat eivät kykene. Koska valokuitujen rakenne on pääasiallisesti lasia, ne mielletään heikoiksi ja helposti katkeaviksi. Oikeaoppisia asennustekniikoita noudattaessa valokuitujen materiaali ei tule ongelmaksi ja osoittaa, että valokuituja voidaan asentaa miltei millaiseen ympäristöön ja tilaan tahansa.

Opinnäytetyö on täysin tehty tutustumalla kirjallisuuteen jota alan yritykset sekä koulut ovat julkaisseet optisen tietoliikenteen komponenteista ja tekniikoista. Valtaosa kirjallisuudesta, joka paneutuu aiheeseen syvällisemmin, on englannin kielellä ja julkaistu Amerikoissa. Muutamien teknisesti monimutkaisempien aiheiden ymmärtäminen englanninkielestä osoittautui haastavaksi.

Aihealueen laajuus ja syvyys osoittautuivat opinnäytetyön kannalta haastavaksi koska jokaisesta käsitellystä osa-alueesta on hyvin paljon tietoa saatavilla, ja tämän tiedon tiivistäminen oli ajoittain haastavaa. Haasteesta huolimatta saatiin työn tuloksena arvokasta tietoa ja ymmärrystä optisen tietoliikenteen keskeisistä komponenteista, tekniikoista sekä käytännöistä.

LÄHTEET

Helkama. 2001. Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa. Tampere: Tammer-Paino Oy.

M2Optics. 2001. History of Optical Fiber. Luettu 3.12.2017

<http://www.m2optics.com/blog/history-of-optical-fiber>

Submarine Networks. 2011. TPC-5 Submarine Cable System Overview. Luettu 3.12.2017

<https://www.submarinenetworks.com/en/systems/trans-pacific/tpc-5/tpc-5-submarine-cable-system>

Belden Cables. Cable Basics: Fiber Optic Cable. 2016. Luettu 6.12.2017

http://www.beldencables-emea.com/en/products/cable_basics/fiber-optic-cable/index.phtml

AD Net. Fiber Optical Cables Structure and Production Materials. 2017. Luettu 6.12.2017

<http://www.ad-net.com.tw/fiber-optical-cables-structure-production-materials/>

AD Net. Difference between single mode fiber and multi mode fiber. Luettu 6.12.2017

<http://www.ad-net.com.tw/difference-between-single-mode-fiber-and-multi-mode-fiber/>

Technobyte. 2016. Types of Optical Fibers. Luettu 7.12.2017

<https://www.technobyte.org/2016/11/types-of-optical-fibers/>

Nestor Cables. 2015. FTTX, Optiset liityntäverkot. Luettu 10.12.2017

https://issuu.com/nestorcables/docs/fttx_optiset_liityntaverkot

FOSCO. 2016. Optical Fiber Loss and Attenuation. Luettu 7.12.2017

<https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95048006-optical-fiber-loss-and-attenuation>

FOSCO. 2016. Optical Amplifiers in Fiber Optic Communication Systems. Luettu 10.12.2017

<https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95044614-optical-amplifiers-in-fiber-optic-communication-systems>

Integrated Publishing. Introduction to Fiber Optics. Luettu 9.12.2017

<http://www.tpub.com/neets/book24/index.htm>

Lightwave. Microbending in optical fibers. Luettu 9.12.2017

<http://www.lightwaveonline.com/articles/2013/03/bend-matters-part-2-microbending-in-optical-fibers.html>

Infinera. WDM – Wavelength-division Multiplexing. Luettu 10.12.2017

<https://www.infinera.com/technology/wdm-wavelength-division-multiplexing/>

Infinera. Super-Channels: DWDM Transmission at 100 Gb/s and Beyond. Luettu 10.12.2017

https://www.infinera.com/wp-content/uploads/2015/07/SuperChannel_WhitePaper.pdf

Sopto. How do Fiber optic transceivers work? Luettu 10.12.2017

<http://www.sopto.com/st/module-knowledge/how-do-fiber-optic-transceivers-work>

Yksimuoto. Haettu 7.12.2017

<https://i2.wp.com/www.technobyte.org/wp-content/uploads/2016/11/single-mode-fiber-optic-cable.jpg>

Monimuoto. Haettu 7.12.2017

<https://i0.wp.com/www.technobyte.org/wp-content/uploads/2016/11/multi-mode-fiber-optic-cable.jpg>

Rakenne. Haettu 5.12.2017

http://ladu.htk.tlu.ee/erika/lasse/fibre_cables/m2e1p4_0_4.gif

Ilma. Haettu 11.12.2017

<https://verkkokauppa.slo.fi/media/catalog/product/cache/image/e9c3970ab036de70892d86c6d221abfe/0/2/0217135.jpg>

Mikrotaipuma. Haettu 9.12.2017

<http://www.timbercon.com/assets/Uploads/fiber-optic-glossary/images/Microbends.gif>

Makrotaipuma. Haettu 9.12.2017

http://www.olson-technology.com/mr_fiber/images/macrobend.gif

WDM. Haettu 10.12.2017

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9b/WDM_operating_principle.svg/800px-WDM_operating_principle.svg.png

Hitsi. Haettu 10.12.2017

http://www.smartofiber.com/images/kuvat/DVP_750_Fusion_Splicer.jpg

Mekaaninen. Haettu 10.12.2017

<https://multimedia.3m.com/mws/media/513720P/3mtm-fibrloktm-ii-2529.jpg>

Transceiver. Haettu 10.12.2017

https://www.finisar.com/sites/default/files/styles/colorbox/public/product-images/cfp4lr4-ftlc1141rdnl_ftlc1141sdnl.jpg?itok=5tJj5R3m

EDFA. Haettu 10.12.2017

<http://www.fiber-optic-tutorial.com/wp-content/uploads/2014/12/EDFA.jpg>

SC. Haettu 10.12.2017

<https://images.eanixter.com/viewex/PR149865V6.JPG>

LC. Haettu 10.12.2017

<http://www.senko.com/images/products/interconnect/lc/thm-lc-premium-connector.jpg>

Häntä. Haettu 10.12.2017

http://links.bccsolutions.fi/Tuotteita/kuidut/häntäkuitu_upc.jpg

KytKentä. Haettu 10.12.2017

<http://www.warecomp.fi/attachments/Image/kytkentakaapeli-IEEE-802z-valokuitukaa-pelointi.jpg?template=generic>

Vaimennin. Haettu 10.12.2017

<https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1K8LXRpXXXXb9apXXq6xXFXXXQ/5PCS-bag-10DB-LC-UPC-female-to-male-10dB-fiber-optic-Attenuator-10db-LC-PC-female.jpg>